

УДК 543.42

МОДЕРНИЗАЦИЯ ДИФРАКЦИОННОГО СПЕКТРОГРАФА ДФС –458: РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АТОМНО-ЭМИССИОННОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

С.Б. Заякина*, **, А.Н.Путьмаков, Г.Н.Аношин **

ООО «ВМК – Оптоэлектроника»,
630090, Новосибирск, пр. Ак.Коптюга, 1
putmakov@vmk.ru

*Институт неорганической химии им.А.В.Николаева СО РАН,
630090, Новосибирск, пр. Ак.Лаврентьева, 3
sbz@che.nsk.su; zayak@uiggm.nsc.ru

**Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии им. А.А.Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, пр.Коптюга, 3
anoshin@uiggm.nsc.ru

В работе приведены результаты модернизации спектрографа ДФС - 458С. Показано, что выполненная модернизация на базе анализаторов МАЭС создает уникальные возможности для атомно-эмиссионного анализа порошков с применением двухструйного дугового плазмотрона

Заякина Светлана Борисовна - кандидат химических наук, старший научный сотрудник группы окислительного фторирования ИНХ им. А.В.Николаева СО РАН, по совместительству - старший научный сотрудник лаборатории аналитической геохимии Аналитического центра Объединенного Института геологии, геофизики и минералогии им. А.А. Трофимука СО РАН.

Область научных интересов: методы атомной спектроскопии, изучение условий возбуждения спектральных линий в различных плазменных источниках, новые методики определения благородных металлов и элементов платиновой группы, экологические исследования.

Автор более 60 публикаций.

Аношин Геннадий Никитович - доктор геолого-минералогических наук, заведующий ла-

бораторией аналитической геохимии Объединенного Института геологии, геофизики и минералогии им. А.А. Трофимука СО РАН, действительный член РАЕН.

Область научных интересов: крупнейший специалист в области геохимии золота, серебра и элементов платиновой группы.

Автор более 100 публикаций и нескольких монографий.

Путьмаков Анатолий Николаевич - ведущий инженер ООО «Оптоэлектроника». Является одним из разработчиков МАЭС, успешно внедряет новые разработки фирмы «ВМК-Оптоэлектроника», а также занимается модернизацией имеющихся спектральных приборов на предприятиях Урала, Сибири, Казахстана и др. стран СНГ.

Автор 5 публикаций по данной теме и несколько Российских патентов.

Экспериментальная установка для атомно-эмиссионного анализа порошков подробно описана ранее в работах [1-7]. Мы использовали дифракционный спектрограф ДФС - 458С, выпускаемый Казанским оптико-механическим заводом. Из сравнения оптических характеристик спектрографов, наиболее широко применяемых в практике спектрального анализа, мы пришли к выво-

ду, что ДФС - 458С обладает самой высокой светосилой и приемлемым разрешением (табл. 1). Для сравнения в таблице приведены данные квантометра ДФС - 36, на котором в г. Иркутске в ГЕОХИ им. А.П. Виноградова осуществлен метод анализа, аналогичный обсуждаемому далее. Этот прибор уступает ДФС - 458С в светосиле в 3 раза, зато имеет существенно лучшее разрешение.

Таблица 1

Характеристики дифракционных спектрографов

Спектрограф	Относительное отверстие A[8]	Обратная линейная дисперсия $d\lambda/dl$ (нм/мм)	Разрешающая способность $R=A \, dl/d\lambda$ [8, 9]	Светосила, пропорциональна A^2 ([8], С.185-186)
ДФС – 8 1200 штр/мм	1 : 35	0,2	142860	$8,16 \cdot 10^{-4}$
PGS 2	1 : 28,5	0,74	47416	$1,38 \cdot 10^{-4}$
МФС – 4 1800 штр/мм	1 : 20	0,55	90910	$2,5 \cdot 10^{-3}$
ДФС – 458 1-ая решетка 900 штр/мм, 460 – 700 нм	1 : 16,5	1,04	58275	$3,6 \cdot 10^{-3}$
2-ая решетка 1200 штр/мм 1 порядок: 345 – 525 нм 2 порядок: 180-260 нм	1 : 16,5	0,78 0,39	77700 155400	$3,6 \cdot 10^{-3}$
3-я решетка 1800 штр/мм, 230 – 350 нм	1 : 16,5	0,5	116550	$3,6 \cdot 10^{-3}$
ДФС – 36	1 : 30	0,27	123460	$1 \cdot 10^{-3}$

Описание спектрографа ДФС 458С

Спектрограф ДФС - 458С [10] не является широко применяемым прибором в практике спектрального анализа. Поэтому приведем его схему, чтобы в дальнейшем было понятно, что было модернизировано. Оптическая схема спектрографа (рис. 1) построена на основе вогнутой дифракционной решетки, которая обладает свойствами как диспергирующего, так и фокусирующего элемента. Это обеспечивает относительную простоту конструкции прибора. Для устранения астигматизма, присущего приборам с вогнутой решеткой, в спектрографе ДФС – 458 применены неклассические дифракционные нарезные решетки с переменным шагом нарезки и криволинейными штрихами.

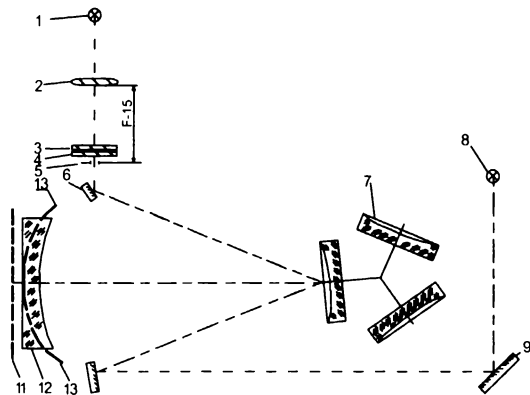


Рис.1. Оптическая схема спектрографа ДФС 458 (пояснения в тексте)

В данном приборе использованы три сменные решетки (см. табл. 1): 900, 1200 и 1800 штр/мм. Конструктивные особенности решеток практи-

чески исключают астигматизм изображения, что на практике ведет к существенному увеличению светосилы прибора. Положение соответствующей решетки на оптической оси контролируется фотодатчиками (8), установленными на основании держателя решетки.

Свет от источника излучения (1) через осветительную (трехлинзовую или двухлинзовую) систему (2-4) попадает на входную щель (5) оптического блока и затем с помощью поворотного зеркала (6) направляется на вогнутую дифракционную решетку (7), после отражения от которой спектр фокусируется на некоторой криволинейной поверхности. Для регистрации спектров на плоскую фотопластинку разработчики [10] рассчитали параметры оптической схемы и решетки таким образом, чтобы в плоскости регистрации спектра были минимальны дефокусировка, астигматизм и меридиональная кома. Для этой цели вблизи плоскости регистрации спектра установлена корректирующая кварцевая линза (12), так что после отражения от решетки свет попадает на линзу, а после нее на фокальную плоскость (11), где располагается кассета с фотопластинкой.

В первоначальном варианте модернизации [1-6] в фокальной плоскости линзы вместо фотопластинки был установлен многоканальный анализатор эмиссионных спектров МАЭС, который представлял собой сборку нескольких (8-10) плоских фотодиодных линеек. В работах [1-3] использовали сборку из 10 элементов, каждый из которых представлял собой фотодиодную линей-

ку, состоящую из 1250 диодов. Размеры фотодиода были равны $25 \times 150 \text{ мкм}^2$. В дальнейшем ширина диода была уменьшена в два раза, что существенно повысило разрешение регистрирующей системы. Результаты, полученные с использованием такой сборки, опубликованы в работах [4, 5]. Следующий шаг по усовершенствованию анализатора МАЭС состоял в увеличении высоты диода, при этом размеры фотодиода стали равными $12,5 \times 1000 \text{ мкм}^2$. На рис. 1 показан плоский анализатор МАЭС (11), состоящий в этом варианте из 8 элементов, каждый из которых представлял собой фотодиодную линейку, содержащую 2580 диодов [6, 7].

Анализатор МАЭС зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под №21013-01 (сертификат RU.C.27.003A.N 9760), выпускается ООО «ВМК – Оптоэлектроника», г.Новосибирск.

Анализатор МАЭС преобразует оптические сигналы в цифровые и передает их для дальнейшей обработки в ЭВМ. Работа анализатора и проведение атомно-эмиссионного анализа поддерживается комплектом программ «Атом» [2 - 4, 7], который выполняет обработку спектров, построение градуировочных графиков в общепринятых координатах, всестороннюю статистическую обработку градуировочных графиков, результатов анализа и промежуточных экспериментальных данных [11 - 13]. Программный пакет «Атом» разработан в ООО «ВМК – Оптоэлектроника», зарегистрирован в Реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам РФ, свидетельство № 2004611127.

Модернизация спектрографа ДФС - 458

Как показал опыт нашей работы, корректирующая линза (12) не позволяет достичь высокого качества спектра, особенно на краях спектрального диапазона. Кроме того, она поглощает излучение, уменьшая светосилу прибора. Модернизация спектрографа была проведена для того, чтобы устранить эти недостатки. Для регистрации спектра был изготовлен специальной конструкции анализатор, состоящий из 10 фотодиодных линеек, которые расположены на некоторой криволинейной поверхности (отклонение от круга Роуланда обусловлено применением неклассических решеток). Каждая фотодиодная линейка состояла из 2580 диодов, фотодиод имел размеры $12,5 \times 1000 \text{ мкм}^2$. Корректирующая линза была удалена, вместо нее на специальном креплении установлен МАЭС новой конструкции.

на рис. 1 он показан криволинейными штрихами (13).

Дальнейшая модернизация установки заключалась в применении двухстрочного МАЭС, который позволяет одновременно регистрировать два спектра от участков плазменного факела, отличающихся по высоте на 2 мм. В этом случае подбором параметров осветительной системы добиваются четкого изображения плазменного источника на щели спектрографа. Для крепления электродных головок применяли специальный штатив, который позволял перемещать изображение плазменного факела на щели спектрографа с шагом $0,50 \pm 0,05 \text{ мм}$. Программное обеспечение позволяет получать результаты как по каждой строчке отдельно, так и усреднять результаты обоих измерений.

Стандартные образцы сравнения

Для построения градуировочных графиков при определении благородных металлов и металлов платиновой группы использовали стандартные образцы состава графитового коллектора микропримесей СОГ-13 (СОП РАЛ 01-94), выпускаемые Российской арбитражной лабораторией испытания материалов ядерной энергетики Уральского государственного технического университета. Стандартные образцы содержат Ag, Au, Ir, Os, Pd, Pt, Rh, Ru в интервале концентраций от $9,6 \cdot 10^{-2}$ до $1,01 \cdot 10^{-4} \text{ мас.}\%$.

При определении пределов обнаружения большой группы элементов использовали представленный этой лабораторией комплект стандартных образцов состава графитового коллектора микропримесей СОГ-24 (ГСО 7751-2000), который содержал следующие примеси: Ag, Al, As, B, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, In, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Sb, Se, Sn, Te, Tl. Массовая доля каждого элемента составляла от $1 \cdot 10^{-2}\%$ до $1 \cdot 10^{-5}\%$.

Результаты модернизации

Для иллюстрации результатов модернизации регистрировали спектры стандартного образца СОГ-13-4, в котором концентрация каждого элемента составляла $1,01 \times 10^{-4} \text{ мас.}\%$ (~1 ppm). Наши исследования проведены для всех используемых в приборе решеток, но в данной работе приводятся только результаты, полученные для решетки 1800 штр/мм.

Как показали наши исследования [14], в результате модернизации качество спектра улучшилось, а рабочий спектральный диапазон для решетки 1800 штр/мм составил 190-368 нм. Особенно перспективной оказалась возможность

работать в области длин волн короче 230 нм. Как известно, раньше при применении фотопластинок эту область спектра практически не использовали, так как чувствительность фотоэмульсии в этом диапазоне очень низка. Развитие твердотельных фотодиодных приемников позволило эффективно регистрировать излучение и в этом диапазоне длин волн, что широко применяется в зарубежных приборах с индуктивно – связанной плазмой.

Для примера на рис.2 показан спектр, регистрируемый первой коротковолновой плоской фотодиодной линейкой до модернизации. Диапазон регистрируемого спектра на этой линейке составляет 10 нм: от 228 нм до 238 нм. Первая спектральная линия регистрируется 1430-м диодом. Коротковолновая часть спектра на этой линейке ограничена линзой и конструктивными особенностями прибора, что сужает регистрируемый диапазон длин волн.

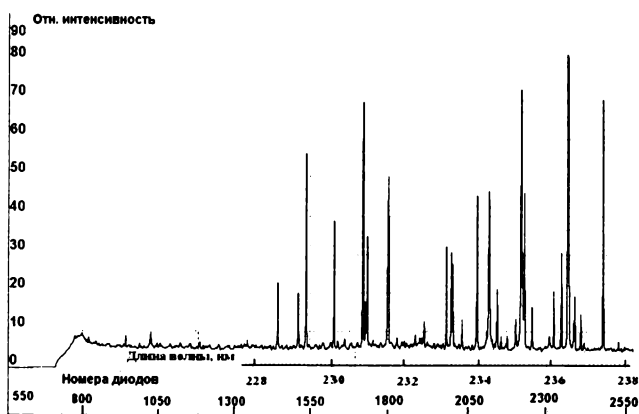


Рис.2. Вид спектра, регистрируемый первой линейкой (до модернизации). Диапазон длин волн 220 – 238 нм

Диапазон спектра, регистрируемый однорядной первой фотодиодной линейкой после модернизации (рис.3), составил 18 нм: от 190 нм до 208 нм.

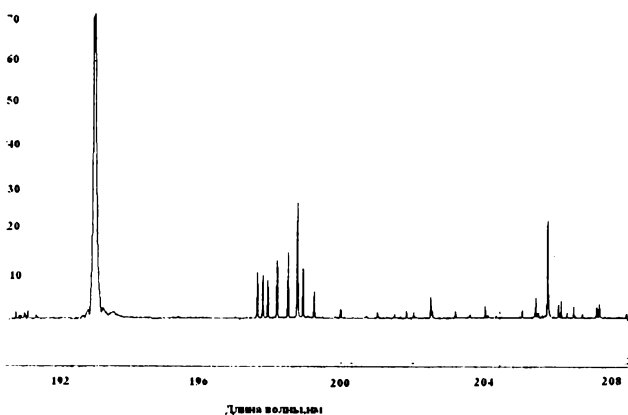


Рис.3. Вид спектра, регистрируемый первой линейкой (после модернизации). Диапазон длин волн 190 – 208 нм

На рис.4 показан общий вид спектра, регистрируемый однорядным МАЭС после модернизации прибора - полный диапазон спектра увеличился на 58 нм и составил 178 нм: от 190 нм до 368 нм.

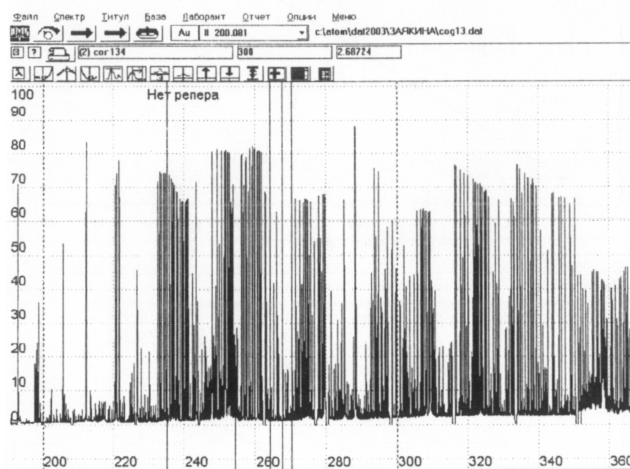


Рис.4. Весь диапазон, регистрируемый МАЭС. Диапазон длин волн от 190 до 368 нм

Модернизация существенно расширила возможности спектрального прибора ДФС – 458. Например, при определении золота аналитик получил возможность использовать ионную линию Au II 200.081 нм и атомную линию Au I 201.200 нм, которые в первоначальном исполнении были недоступны. Использование при проведении анализа одновременно нескольких линий одного элемента позволяет повысить точность определения, так как имеется возможность учитывать возможные погрешности из-за наложения сопутствующих элементов. На рис.5 приведены градуировочные графики для определения золота, построенные по комплексу стандартных образцов СОГ-13 (СОП РАЛ 01-94). На рис. 5-1 показан градуировочный график для определения золота по ионной линии Au II 200.081 нм, на рис.5-2 и 5-3 показаны градуировочные графики для определения золота по атомным линиям Au I 201.205 нм и Au I 267.594 нм.

В задачу данной работы не входила оценка пределов обнаружения золота, но из градуировочных графиков можно сделать вывод, что предел обнаружения ниже, чем содержание золота в стандартном образце СОГ 13-4 (1 г/т, 10^{-4} мас. %, 1 ppm)

В табл.2 показаны результаты проверки градуировки по трем линиям золота и пример определения золота в реальных пробах, в скобках приведено число параллельных определений.

Возможность работать в области длин волн 190 – 230 нм позволило расширить круг определяемых элементов.

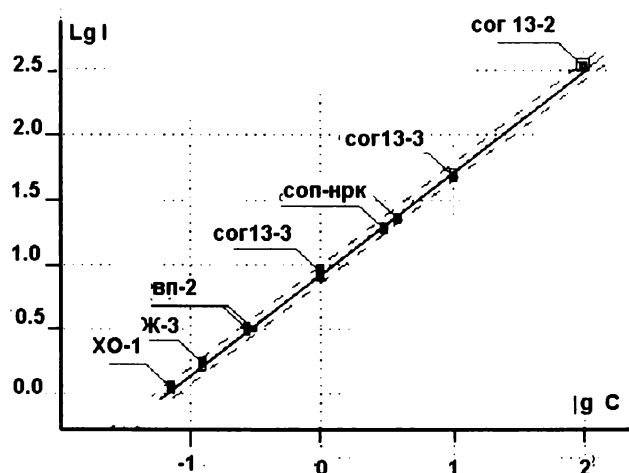
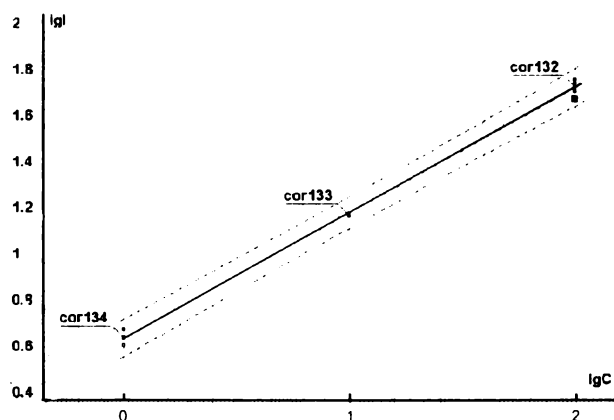
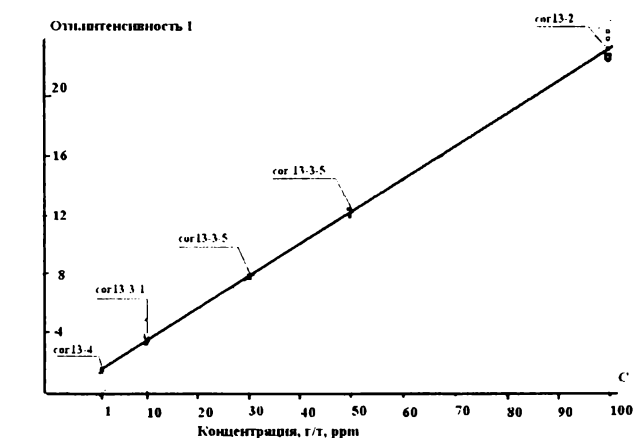


Рис.5. Градуировочные графики для определения золота (C в г/т или ppm):

1- Au II 200.081 нм , 2 -Au I 201.205 нм , 3 - Au I 267.594 нм

Для примера на рис.6 приведен контур линии селена Se I 196.026 нм, на рис.7 показан градуировочный график для его определения, построенный по стандартным образцам СОГ-24 (ГСО 7751-2000). Угол наклона градуировочной прямой $\alpha=36.18^\circ$.

При определении ртути в отработанных углеродных сорбентах [15-17] мы столкнулись с ситуацией, когда самая сильная линия ртути HgI 253,651 нм закрыта линиями сопутствующих элементов и определение по ней невозможно (рис.8).

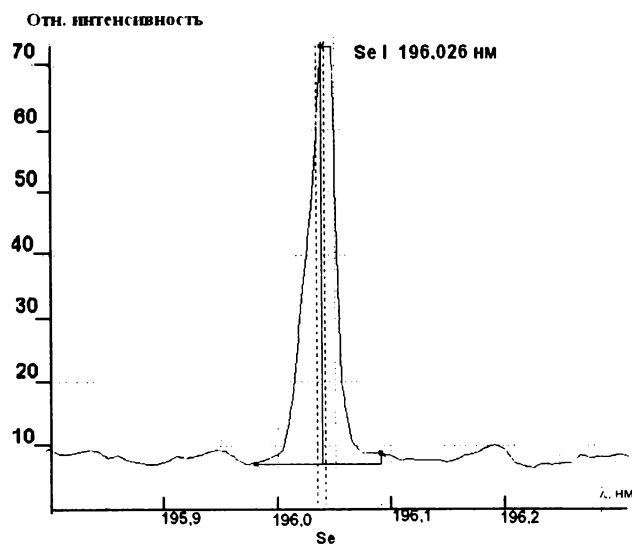


Рис.6. Контур линии Se 196.026 нм

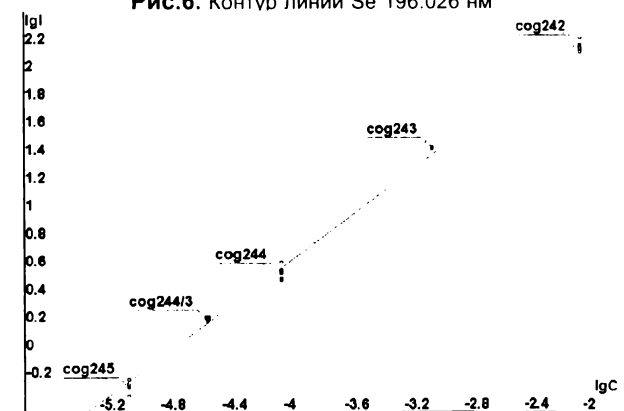
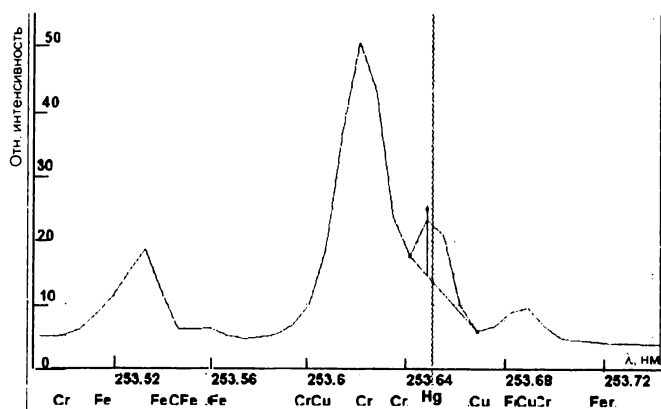


Рис.7. Градуировочный график для определения Se 196.026 нм (C в %)

Таблица 2

Результаты определения по группе линий золота , ppm

Образец	Аттестованное значение	Определено по градуировочным графикам			Среднее
		II 200.08 нм	I 201.205 нм	I 267.594 нм	
СОГ 13-4	1,01±0,12	1,03±0,08(7)	1,10±0,09(7)	0,94±0,07(7)	1,02±0,08
СОГ 13-3	9,6±0,5	9,4±0,5 (9)	9,6±0,4(9)	11,3±0,5 (9)	10,1±0,5
СОГ 13-2	96±3	103±6 (9)	100±11(9)	94±6 (9)	99±8
Проба 1		1,50±0,22 (9)	1,70±0,24(8)	1,37±0,23(9)	1,49±0,23
Проба 2		1,15±0,19(7)	1,05±0,18(7)	0,84±0,12(6)	1,02±0,17



с.8. Вид спектра отработанных углеродных сорбентов в области Hg I 253,651 нм

В этом случае мы использовали линию ртути Hg II 194,164 нм, контур которой показан на рис.9, градуировочный график для определения ртути по этой линии приведен на рис. 10.

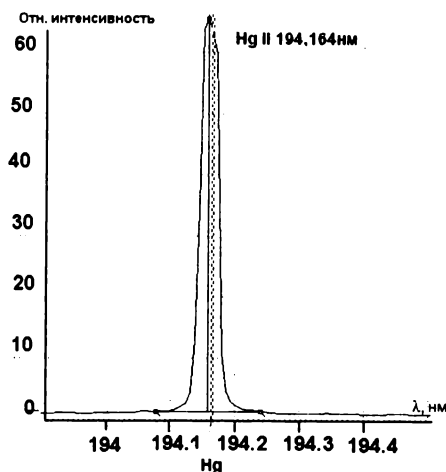


Рис.9. Контур линии ртути Hg II 194,164 нм

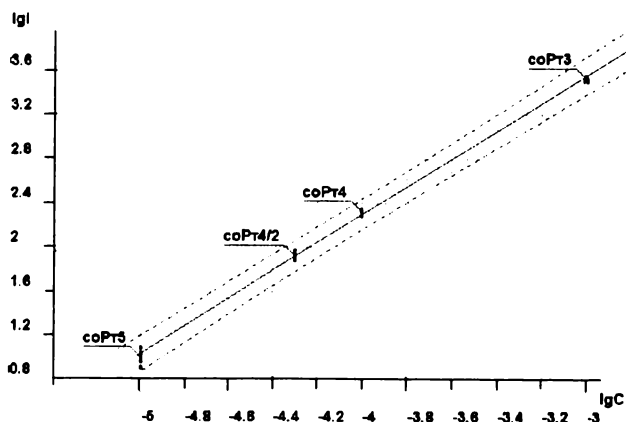


Рис.10. Градуировочный график для определения ртути по линии Hg II 194,164 нм (С в %)

Особые возможности для совершенствования спектрального анализа с применением двухструйного плазматрона обеспечивает использо-

вание двухстрочного анализатора МАЭС.

Наши исследования [18,20,21] показали, что температура плазмы повышается от 5500 К в «зоне до слияния» до 6800 К «в зоне слияния» и затем понижается до 5000 К на высоте 10-15 мм от слияния струй. Изменение температуры плазменного факела по высоте проявляется в том, что интенсивность спектральной линии одного и того же элемента в разных по высоте участках плазменного факела различна. Для аналитических линий золота, серебра и элементов платиновой группы было установлено [18,21], что максимальная интенсивность наблюдается в зоне слияния струй. В распределениях интенсивности линий по высоте факела наблюдается достаточно широкое плато с максимальным значением интенсивности линии. Это плато соответствует зоне слияния струй, высота которой составляет примерно 3 мм. Место слияния двух струй выбрано нами в качестве аналитической зоны, поскольку здесь наблюдается пространственная стабильность параметров плазмы и максимальная интенсивность спектральных линий. На рис. 11 показаны спектры, зарегистрированные двухстрочным анализатором МАЭС в зоне слияния. Как видим спектры, зарегистрированные обеими строчками, не отличаются ни по интенсивности спектральных линий, ни по интенсивности фона.

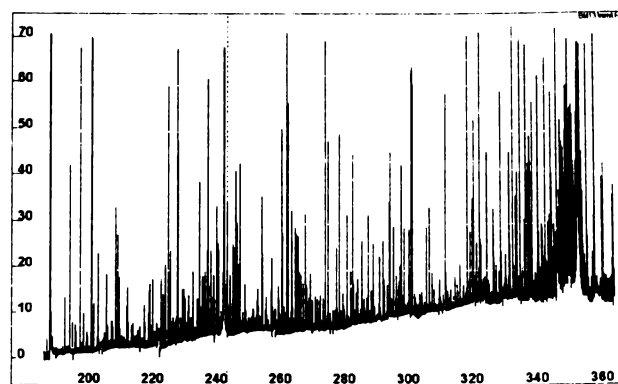


Рис.11. Вид спектра, зарегистрированный двухстрочным МАЭС в зоне слияния плазменных струй

Применение двухстрочного анализатора МАЭС дает возможность регистрировать одни элементы на первой строчке, где их интенсивность максимальна, другие - на второй строчке. Этим могут быть уменьшены спектральные наложения и повышена точность анализа. На рис. 12 показан вид спектра, зарегистрированный двухстрочной фотодиодной линейкой, на высоте 5 мм от основания факела. За основание факела принято положение, при котором на нижней линей-

ке регистрируется спектр на уровне фона. Спектральные линии при этом отсутствуют или имеют минимальное, сравнимое с фоном, значение.

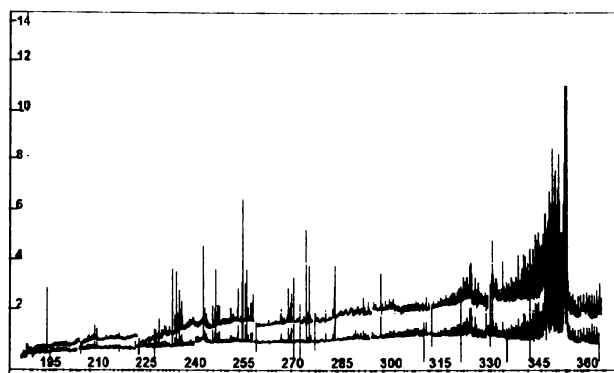


Рис. 12. Вид спектра, зарегистрированный двухстрочным МАЭС на высоте 5 мм от основания плазменного факела

ЛИТЕРАТУРА

1. Заякина С.Б. Автоматизированная установка для атомно-эмиссионного спектрального анализа при проведении геолого-геохимических и эколого-геохимических исследований /С.Б.Заякина, Г.Н.Аношин, П.А.Герасимов. //Международный симпозиум по прикладной геохимии стран СНГ. Тез. докл. Россия, М., 1997. С.215 - 216
2. Заякина С.Б. Автоматизированная установка для атомно-эмиссионного определения золота, серебра и платиновых металлов / С.Б.Заякина, Г.Н.Аношин, П.А.Герасимов, А.В.Смирнов //Журнал аналитической химии. 1999. Т. 54, № 8. С.877-884.
3. Zayakina S.B. Determination of Gold, Silver and Platinum – Group Elements in Geochemical Reference Materials by Direct Atomic Emission Analyser Recording Device./ S.B.Zayakina, G.N.Anoshin //Geostandards Newsletter: The Journal of Geostandards and Geoanalysis. 2001. Vol. 25, № 1. P.57-66.
4. Заякина С.Б. Повышение чувствительности и точности многоэлементного атомно-эмиссионного метода при геохимических исследованиях / С.Б.Заякина, В.Н.Митькин, Г.Н.Аношин // Всероссийская конференция «Актуальные проблемы аналитической химии». Тез. докл. М. 2002. Т.2, С.179-180/
5. Mitkin V.N. New technique for the determination of trace noble metal content in geological and process materials / V.N.Mitkin, S.B.Zayakina, G.N.Anoshin // Spectrochimica Acta. 2003. Part B 58. P.311 – 328.
6. Заякина С.Б. Расширение возможностей и информативности при компьютеризации атомно-эмиссионного спектрального анализа / С.Б.Заякина, Г.Н.Аношин, В.Н.Митькин, Л.М.Левченко // Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: Тез. докл. Т.1. Пленарные доклады: Достижения и перспективы химической науки. Казань, 2003.С.334.
7. Заякина С.Б. Высокая информативность прямого атомно-эмиссионного спектрального анализа при применении МАЭС /С.Б.Заякина, Г.Н.Аношин, Л.М.Левченко, В.Н.Митькин, А.Н.Путьмаков // Аналитика и контроль, 2004. Т.8, № 3, С.236-247.
8. В.В. Лебедева. Техника оптической спектроскопии. М.: Изд-во МГУ, 1977. 384 с.
9. К.И.Тарасов. Спектральные приборы. Л.: Машиностроение. 1977. 388 с.
10. Павлычева Н.К. Оптические схемы дифракционных спектральных приборов: новые технологии - новые возможности // Материалы V международного Симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности». Новосибирск, 2004. С.24-34.
11. Орлов А.Г. Методы расчета в количественном спектральном анализе. Л.: Недра, 1986. 230 с.
12. Карпов Ю.А. Метрологические проблемы сертификации партий веществ и материалов по химическому составу / Ю.А.Карпов, И.А.Майоров, Л.Н.Филимонов //Завод. лаб. Диагностика материалов. 2001. Т.67, №2. С.52 –64.
13. Представление результатов химического анализа (рекомендации IUPAC 1994) /Комиссия по терминологии Научного совета РАН по аналитической химии // Журн. аналит. химии. 1998. Т.53, №9. С.999-1008.
14. Заякина С.Б. Результаты модернизации дифракционного спектрографа ДФС-458С. /С.Б.Заякина, Г.Н.Аношин, А.Н.Путьмаков. // Материалы V международного Симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» Новосибирск, 2004. С.14-24.
15. Левченко Л.М. Контроль содержания ртути в промышленных пробах. /Л.М.Левченко, С.Б.Заякина, В.Н.Митькин, М.П.Тиунов, А.В.Уланов, А.Б.Александров // Сб. материалов V Международной научно-практической конференции «Экология и жизнь» Пенза. 2002. С. 148- 150.

16. Левченко Л.М. Аналитический контроль содержания ртути в технологии очистки сточных вод / Л.М.Левченко, В.Н.Митькин, С.Б.Заякина, Т.Н.Денисова // Всероссийская конференция «Актуальные проблемы аналитической химии» Тез. докл. Москва. 2002. Т.2. С.133-134.
17. Левченко Л.М. Контроль содержания ртути в технологических растворах и отработанных ртутьсодержащих углеродных сорбентах литейного производства. / Л.М.Левченко, В.Н.Митькин, С.Б.Заякина, Т.Н.Денисова // III Международный Симпозиум «Контроль и реабилитация окружающей среды». Тез. докл. Томск, 2002. С.110.
18. Zayakina S.B. Account for the spatial parameter distribution in two-jet plasmatorch plasma while analytic procedures are developed. / S.B.Zayakina, G.N.Anoshin // XII International Conference on the Methods of Aerophysical Research .Proceedings. Part III. Novosibirsk: Publishing House " Nonparel". 2004. Pp.193-197.
19. Заксас Н.П. Атомно-эмиссионное определение микроэлементов в порошковых пробах разной природы с возбуждением спектров в двухструйном дуговом плазмотроне. / Н.П.Заксас, И.Р.Шелпакова, В.А.Герасимов // Жур. аналит. химии. 2004. Т.59, №3. С.254-260.
20. Заякина С.Б. Двухструйный плазмотрон в сочетании с компьютеризированной системой регистрации – мощный прибор для анализа порошковых проб / С.Б.Заякина, Г.Н.Аношин, А.Н.Путьмаков // VII конференция « Аналитика Сибири и Дальнего Востока». Тез. докл. Новосибирск. 2004. С.59.
21. Заякина С.Б. Компьютеризированный эмиссионный спектральный анализ: перспективы и возможности / С.Б.Заякина, Г.Н.Аношин, А.Н.Путьмаков // Всероссийская конференция по аналитической химии «Аналитика России». Тез. докл. Москва. 2004. С.115.

* * * * *

IMPROVEMENT OF DFS – 458 DIFFRACTION SPECTROGRAPH: EXTENSION OF ANALYTICAL CAPABILITIES OF ATOMIC-EMISSION SPECTRAL ANALYSIS

S.B.Zayakina, A.N.Putmakov, G.N.Anoshin

The results concerning improvement of DFS-458C spectrograph based on MAES analyser are given in the paper. This improvement has been proved to provide unique capabilities for atomic-emission analysis of powders with double-jet ark plasmotron.
